DOI: 10.17353/2070-5379/35\_2023

УДК 56.074.6:[56.016:551.734.5](470.1)

# Журавлев А.В.

Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Сыктывкар, Россия, micropalaeontology@gmail.com

# ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА РАННЕФАМЕНСКИХ КОНОДОНТОВ И КАРБОНАТОВ ИЖЕМСКОЙ СВИТЫ (ЮЖНЫЙ ТИМАН)

В отобранном материале из нижнего фамена южной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции изучены вариации изотопного состава углерода конодонтов  $(\delta^{13}C_{con})$  и вмещающих карбонатов  $(\delta^{13}C_{carb})$ . Для мелководных отложений значения  $\delta^{13}C_{con}$ варьируют в интервале от -27,9‰ до -24,0‰, а среднее значение  $\delta^{13}C_{carb}$  составляет -0,7‰. Данные по изотопному составу карбонатов и конодонтовых элементов использованы для моделирования динамики эффективной скорости роста фитопланктона. Реконструирован рост первичной биопродуктивности в фазе Pal. minuta minuta с последующей стабилизацией на относительно высоком уровне в фазах Pal. crepida - Pal. rhomboidea. Полученные данные позволяют предположить, что в раннем фамене на юге Тимано-Печорской нефтегазоносной провиници сформировались пелагические экосистемы С высокой первичной биопродуктивностью, отвечающие восстановлению биоты после фран-фаменского экологического кризиса (верхний девон). Вероятно, эти экосистемы продуцировали значительные объемы органического вещества, которые интенсивно утилизировались обильным бентосом и окислялись в хорошо аэрируемой мелководной части бассейна, но при этом накапливались в составе богатых органическим веществом отложений в глубоководной части бассейна.

*Ключевые слова*: конодонты, изотопы углерода, верхний девон, Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция, биопродуктивность.

Ранний фамен – время восстановления экосистем после франско-фаменского экологического кризиса, который привел к исчезновению от 70 до 90% морских экосистем на тропических шельфах [McGhee, 1996]. Этот кризис в значительной степени затронул не только бентосные, но и пелагические экосистемы. Для посткризисного интервала (ранний фамен) характерно достаточно быстрое восстановление как таксономического разнообразия, так и экосистем в целом [McGhee, 1996; Racki, 2020]. И если для бентоса процессы восстановления хорошо изучены, то для пелагических организмов основное внимание уделялось анализу таксономического разнообразия [Ziegler, Lane 1987; Wang, Ziegler, 2002; Журавлев, 2019]. При этом посткризисное восстановление пелагических сообществ остается мало изученным. разнообразие пелагических Известно. что организмов, в частности конодонтов, восстановилось относительно быстро (к началу фазы *crepida*, см. [Ziegler, Lane 1987], или даже в течение фаз Early и Middle triangularis [Wang, Ziegler, 2002]), однако, таксономическое разнообразие - это не единственный показатель посткризисного восстановления биоты.

#### ISSN 2070-5379 Neftegasovaâ geologiâ. Teoriâ i practika (RUS) URL: http://www.ngtp.ru

В задачи данной работы входит реконструкция динамики восстановления экосистем толщи воды на основе использования экогеохимического подхода. Под экогеохимией в данном случае понимается отражение экологии животных в геохимических характеристиках минерализованных тканей [Mizutani et al., 1991]. Наиболее широко применяемым экогеохимическим параметром является изотопный состав углерода. Он отражает экологическую специализацию организмов и состояние экосистемы в целом [McMahon et al., 2013; Zhuravlev, 2022, 2023]. Экогеохимические параметры конодонтов, как консументов низкого уровня, могут выступать как показатели состояния пелагических экосистем палеозоя [Журавлев, 2022; Zhuravlev, 2023]. При этом в мелководных фациях конодонтовые ассоциации лучше отражают состояние экосистемы, чем в глубоководных, поскольку отсутствует смешение комплексов различных батиметрических зон.

Шельфы северо-востока Лавруссии, располагавшиеся в раннефаменское время в тропическом поясе, представляют хороший модельный объект для анализа состояния пелагических экосистем [Zhuravlev, Sokiran, 2020]. На Южном Тимане мелководные отложения раннефаменского возраста представлены хорошо изученной ижемской свитой ([Безносов, 2009; Майдль, Безносов, 2011; Плякин, 2015] и др.). Морские отложения, содержащие представительные комплексы конодонтов, слагают верхнюю часть свиты и сопоставляются с «верхней частью зоны *triangularis*» и зоной *crepida* [Гатовский, 2019].

#### Материал

Материалом для исследований послужили данные по разрезу на р. Сюзъю (рис. 1, 2), где вскрываются отложения, сопоставляемые со второй пачкой ижемской свиты в стратотипе (по [Майдль, Безносов, 2011]). По конодонтам изученная часть разреза коррелировалась с интервалом зон Upper triangularis – crepida (= интервал зон Palmatolepis minuta minuta – Palmatolepis glabra pectinata по [Spaletta et al., 2017]) [Обуховская, Кузьмин, 1993; Гатовский, 2019].

Экогеохимические параметры изучены для конодонтов, принадлежащих родам *Jablonnodus, Mitrellataxis, Ligonodina* (табл. 1). Так как конодонтовые элементы этих таксонов встречаются в широком спектре фаций – от крайнего мелководья до глубоководья – можно предположить, что данные конодонты обитали в приповерхностной зоне водного столба, в верхней части эпипелагиали. Топическая близость таксонов делает корректным сопоставление их экогеохимических параметров.

# Методы

Стратиграфическую основу исследований составили данные по конодонтам, которые

позволили сопоставить изученные разрезы с зональной схемой [Spalletta et al., 2017] (см. рис. 2). Некоторые из конодонтов верхней части ижемской свиты изображены на рис. 3, а их распределение по разрезу показано в табл. 2.



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов ижемской свиты

А - на тектонической схеме северо-востока Европы (по [Прищепа и др., 2011]); В - на фрагменте геологической карты (составлена автором).

1 - юрские терригенные отложения; 2 - ижемская свита; 3 - раннекаменноугольные карбонатные отложения.



**Рис. 2. Литологические колонки изученных разрезов ижемской свиты** Отмечены уровни первых находок конодонтов Polygnathus tigrinus и Polylophodonta elongata.

Таблица 1

Образец	Зона	Таксон	$\delta^{13}C_{co}$	$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	
SJ1-2/19		М-элемент	-27,9	-0,2	24,5	
SJ1-8/19	Palm. minuta	Mitrellataxis sp.	-27,3	-1,2	23,7	
SJ1-8/19		Ligonodina sp.	-26,3	-1,2	23,7	
SJ1- 11/19		Jablonnodus sp.	-26,8	-1,1	22,8	
SJ1- 13/19		Ligonodina sp.	-25,9	нет данных	нет данных	
SJ1- 14/19	Palm. crepida – Palm. glabra	Jablonnodus sp.	-24,5	-0,9	24,0	
SJ1- 14/19	респпата	Ligonodina sp.	-24,8	-0,9	24,0	
SJ1- 14/19		Jablonnodus erectus	-24,0	-0,9	24,0	
SJ2-1/19		Mitrellataxis sp.	-26,3	-0,5	24,4	
SJ2-4/19		Mitrellataxis sp.	-27.7	-0,8	23,8	
SJ2-6/19		Jablonnodus sp.	-25,6	-0,2	24,4	
SJ2-6/19		Ligonodina sp.	-25,1	-0,2	24,4	
SJ2-6/19		Jablonnodus sp.	-24,7	-0,2	24,4	
SJ2-6/19		Ligonodina sp.	-27,0	-0,2	24,4	
SJ2-8/19	Palm, rhomboidea	S-элемент	-25,8	нет данных	нет данных	
SJ2-8/19		S-элемент	-25,2	нет данных	нет данных	
SJ2-9/19		S-элемент	-25,5	-1,1	23,6	
SJ2-9/19		S-элемент	-26,1	-1,1	23,6	

# Изотопный состав карбонатов и конодонтовых элементов в разрезе нижнего фамена на р. Сюзъю

#### Изотопные исследования

Образцы на изотопные исследования карбонатов отбирались стальным микробуром со свежего скола породы, по возможности с микритовой составляющей. Определение изотопного состава углерода и кислорода карбонатов проводилось путем разложения карбонатов в ортофосфорной кислоте и измерения изотопного состава в режиме непрерывного потока гелия (метод CF-IRMS) на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific (Бремен, Германия), включающем в себя систему подготовки и ввода проб GasBench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения  $\delta^{13}$ С даны в промилле относительно стандарта PDB,  $\delta^{18}$ O – стандарта SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS 18 и NBS 19. Ошибка измерения показателей  $\delta^{13}$ С и  $\delta^{18}$ O составляет ±0,15‰.

Определение изотопного состава углерода конодонтов проводилось на масс-спектрометре DELTA V Advantage, оснащенном интерфейсом непрерывного потока Thermo Electron (ConFlo III) и анализатором элементов (Flash EA 1112). Масс-спектрометр анализировал углекислый газ, образующийся при высокотемпературном (около 900°С) сгорании конодонтовых элементов. Значения  $\delta^{13}$ С даны в промилле относительно стандарта PDB. При калибровке использован международный

6

стандарт USGS-40 (L-глутаминовая кислота). Ошибка определения δ<sup>13</sup>С составляет ±0,15‰. Подробно методика пробоподготовки и изучения изотопного состава углерода конодонтов рассмотрена ранее [Zhuravlev, 2023]. Все аналитические исследования проводились в ЦКП «Геонаука» (г. Сыктывкар, Россия).



**Рис. 3.** Фотографии раннефаменских конодонтов из разреза ижемской свиты на р. Сюзью 1 - Polygnathus tigrinus Kuzmin, oбр. SJ1-11; 2 - Polygnathus tigrinus Kuzmin, oбр. SJ2-1; 3 - Polylophodonta elongata Druce, oбр. SJ2-3; 4 - Polygnathus tichonovitchi Kuzmin et Melnikova, oбр. SJ2-9; 5 - Icriodus iowaensis Youngquist et Peterson, oбр. SJ1-1; 6 - Icriodus iowaensis Youngquist et Peterson, oбр. SJ1-14; 7 - Polygnathus devexus Melnikova et Kuzmin, oбр. SJ2-4; 8 - Polygnathus aff. buzmakovi Kuzmin, oбр. SJ1-9; 9 - Polygnathus brevilaminus Branson et Mehl, oбр. SJ1-9; 10 - Polygnathus brevilaminus Branson et Mehl, oбр. SJ1-2; 11 - Icriodus iowaensis Youngquist et Peterson, oбр. SJ2-3; 12 - Mitrellataxis conoidalis Dzik, oбр. SJ1-7; 13 - Jablonnodus erectus Dzik, oбр. SJ1-14; 14 - Jablonnodus erectus Dzik, oбр. SJ1-4; 15 - Icriodus sp., oбр. SJ1-11; 16 - Jablonnodus erectus Dzik, oбр. SJ2-2.

Образец Таксон	SJ1-1	SJ1-2	SJ1-4	SJ1-5	SJ1-6	SJ1-7	SJ1-8	SJ1-9	SJ1- 11	SJ1- 12	SJ1- 13	SJ1- 14	SJ2-1	SJ2-2	SJ2-3	SJ2-4	SJ2-5	SJ2-6	SJ2-9
Icriodus alternatus												2							
Icriodus cornutus	1											2	1					2	
Icriodus darbyensis								1	7										
Icriodus iowaensis	1								1			2			1				
Icriodus sp.							1	4	3			4	4			1			
Jablonnodus erectus			1		1							6	3	1					1
Jablonnodus sp.												4	12					2	
Ligonodina sp.							1				2	2						2	
Mehlina arcuata																		2	
Mehlina kielcensis						1													
Mehlina sp.													1						
Mehlina vogelgnathoides																	2		
Mitrellataxis conoidalis			1			2	4					5				2			
Mitrellataxis ornata																	3		
Mitrellataxis sp.							2	5	3			4	3			1		3	
Pandorinellina sp.								2											
Pelekysgnathus inclinatus												2	1						
Pelekysgnathus peejayi															1				
Pelekysgnathus sp.						1			1	1		1	1					1	
Polygnathus brevilaminus		2					2	2	2			2	2				1	3	
Polygnathus buzmakovi								1											
Polygnathus devexus																1			
Polygnathus sp.		2		1		1		4				4	2	1		1	1		
Polygnathus tichanovitchi								1					1						1
Polygnathus tigrinus									1				4		2		2		
Polylophodonta elongata															2				

Распределение конодонтов в разрезе на р. Сюзью

Таблица 2

#### ISSN 2070-5379 Neftegasovaâ geologiâ. Teoriâ i practika (RUS) URL: http://www.ngtp.ru

Для интерпретации полученных данных использовалась система компьютерного моделирования, позволяющая реконструировать первичную биопродуктивность пелагических экосистем по изотопному составу углерода конодонтов и карбонатов [Журавлев, 2022]. Система основана на модели локального фракционирования изотопов углерода в морских экосистемах толщи воды [Hayes et al., 1999; Hartke et al., 2021; Zhuravlev, 2021, 2023; Журавлев, 2022] и позволяет получать качественную или полуколичественную оценку эффективной скорости роста фитопланктона [Журавлев, 2022; Груздев и др., 2023].

#### Характеристика разреза

Нижний фамен изучен в двух обнажениях (см. рис. 2), расположенных на левом берегу р. Сюзью (бассейн р. Ижма) (см. рис. 1). В первом обнажении (SJ1, N 63° 44' 21.9" Е 53° 42' 02.8") снизу вверх по разрезу в нормальной стратиграфической последовательности вскрываются следующие слои:

1. Близкое к равномерному волнисто-линзовидное чередование (масштаб чередования менее 1 см) известняков тонкодетритовых светло-серых, коричневатых, с брахиоподами и глин известковистых голубовато-серых. Видимая мощность - 0,25 м. Волнистый контакт с просадками.

2. Неравномерное чередование с резкими границами известняков от крупногрубодетритовых с глинистыми «закатышами» в нижней части до тоноко-мелкодетритовых в верхней части слоя, серых, волнистослойчатых (преобладают) и глин известковых голубоватосерых субгоризонтальнослойчатых. В известняках - раковины гастропод и брахиопод. В кровле слоя - многочисленные ихнофоссилии. Мощность - 0,15 м. Контакт ровный.

3. Неравномерное чередование (масштаб чередования 2-5 см) с резкими границами известняков мелко-тонокодетритовых светло-серых, коричневатых, волнистослойчатых с намывами створок брахиопод (преобладают) и глин известковых голубовато-серых субгоризонтальнослойчатых. В известняках присутствуют раковины гастропод и брахиопод. По простиранию переходит в равномерное чередование. Мощность - 0,2 м. Ровный контакт.

4. Близкое к равномерному волнисто-линзовидное чередование (масштаб чередования менее 1 см) известняков тонкодетритовых светло-серых, коричневатых, с брахиоподами и глин известковистых голубовато-серых. Мощность - 0,2 м. Волнистый контакт.

5. Неравномерное чередование (масштаб чередования 3-5 см) с резкими границами известняков от крупно-грубодетритовых с глинистыми «закатышами» в нижней части до тонко-мелкодетритовых в верхней части слоя, серых, волнистослойчатых (преобладают) и глин известковых голубовато-серых субгоризонтальнослойчатых. В известняках встречаются

раковины гастропод и брахиопод. В кровле слоя - многочисленные ихнофоссилии. Мощность - 0,3 м. Ровный контакт.

6. Близкое к равномерному волнисто-линзовидное чередование (масштаб 1-2 см) известняков глинистых тонкодетритово-пелитоморфных светло-серых волнистослойчатых, и глин известковистых голубовато-серых. В 0,15 м от подошвы - линзовидный прослой (до 5 см по мощности) известняка мелкодетритового серого косослойчатого с ячеистыми знаками ряби в кровле (<u>https://skfb.ly/oAwR6</u>; здесь и далее приведены ссылки на трехмерные модели фрагментов разреза). Мощность - 0,5 м. Волнистый контакт.

7. Неравномерное чередование с резкими границами известняков тонокомелкодетритовых серых волнистослойчатых (преобладают) и глин известковых голубоватосерых субгоризонтальнослойчатых. В известняках присутствуют раковины гастропод и брахиопод. Мощность - 0,2 м. Ровный контакт.

8. Чередование известняков тонкодетритовых глинистых с брахиоподами, волнистослойчатых и глин известковых голубовато-серых субгоризонтальнослойчатых. Масштаб чередования - от 3-5 см в нижней части до 1 см в верхней части слоя. В нижней части слоя преобладают глины, в верхней - известняки. Линзовидные прослои (до 5-7 см) с брахиоподами и мелким детритом. Поверхности прослоев часто биотурбированы, в верхней части слоя с ячеистыми знаками ряби. Брахиоподы образуют плотные скопления (до 300 экз/м<sup>2</sup>) на поверхностях напластования (<u>https://skfb.ly/oJZwB</u>). Мощность - 1,6 м. Волнистый контакт.

9. Известняки грубодетритовые с мелким и средним детритом, плохо сортированные, серые волнистослойчатые с глинистыми примазками и линзами (до 1 см по мощности) известняков тонкордетритово-пелитоморфных светло-серых. Встречаются раковины брахиопод и гастропод. Мощность - 0,4 м. Бугристый контакт.

10. Неравномерное чередование (масштаб чередования 5-10 см) с резкими границами известняков тонкодетритово-пелитоморфных светло-серых неотчетливо пологоволнистослойчатых до комковатых, и глин известковистых голубовато-серых субгоризонтальнослойчатых. В нижней части слоя преобладают известняки, в верхней - глины. Известняки в различной степени биотурбированы. Мощность - 0,7 м. Волнистый контакт.

11. Известняки средне-грубодетритовые серые волнистослойчатые до комковатых, в прикровельной части до тонкодетритовых. Присутствуют створки и обломки раковин брахиопод. Мощность - 0,1 м. Бугристый контакт.

12. Известняки тонкодетритово-пелитоморфные с рассеянным мелким детритом и линзовидными намывами (до 1 см по мощности) крупно-грубого детрита, светло-серые,

волнисто-линзовиднослойчатые, до комковатых. Текстура намечена глинистыми примазками, частота которых возрастает вверх по слою. Линзовидно-рассеянное распределение раковин и створок брахиопод и двустворок. В верхней части слоя частота детритовых линз и их мощность (до 0,3 м) возрастает. Мощность - 1,3 м. Ровный контакт.

13. Глины известковистые голубовато-серые субгоризонтальнослойчатые с линзовидными прослоями (до 1-2 см по мощности) известняка глинистого тонкодетритовопелитоморфного, пологоволнистослойчатого, биотурбированного, с рассеянным детритом. Видимая мощность - 1 м.

Второе обнажение (SJ2, N 63° 44' 33.4" Е 53° 42' 01.5") вскрывает разрез после не обнаженного участка, отвечающего примерно 30 м по мощности. Здесь снизу вверх по разрезу в нормальной стратиграфической последовательности наблюдаются следующие слои:

1. Известняки мелко-среднедетритовые серые до светло-серых, с намывами грубого детрита. Глинистые прослои (до 1 см по мощности) голубовато-серого цвета намечают волнистую слойчатость. В известняках многочисленны раковины и створки брахиопод и двустворок, а также конкреционные образования, состоящие из пелитоморфного известняка. Видимая мощность - 1 м. Бугристый контакт.

2. Тонкое чередование (масштаб чередования 1-2 см) известняков глинистых пелитоморфных с рассеянным мелким и тонким детритом, волнистослойчатых, и глин известковых голубовато-серых субгоризонтальнослойчатых. В известняках присутствуют раковины брахиопод. Мощность - 2 м.

3. Известняки тонкодетритово-пелитоморфные с линзами крупного и грубого детрита и раковинами брахиопод (<u>https://skfb.ly/oJZwC</u>) светло-серые линзовиднослойчатые, с прослоями глин известковых голубовато-серого цвета субгоризонтальнослойчатых. Прослои глин 1-2 см по мощности располагаются с интервалом в 3-6 см. Мощность - 1,2 м.

4. Известняки тонкодетритово-пелитоморфные с линзовидно-гнездовидным распределением мелкого и среднего детрита брахиопод светло-серые. Глинистые прослои намечают волнистослойчатую, комковатую, до линзовиднослойчатой текстуру. Мощность - 0,6 м.

5. Известняки тонкодетритово-пелитоморфные с линзовидно-гнездовидным распределением мелкого и среднего детрита брахиопод светло-серые. Редкие глинистые прослои намечают волнистослойчатую, комковатую, до линзовиднослойчатой текстуру. Видимая мощность - 1,5 м.

Текстурно-структурные характеристики отложений, а также состав и распределение органических остатков позволяют предположить мелководно-морские условия накопления изученной части ижемской свиты. Присутствие значительной доли глинистых отложений указывает на существенное поступление тонкого терригенного материала.

Нижняя часть разреза (слои 1-10 обн. SJ1) условно сопоставляется с конодонтовой зоной Palmatolepis minuta по присутствию таких видов как Icriodus iowaensis Youngquist et Peterson, Icriodus cornutus Sannemann, Polygnathus brevilaminus Branson et Mehl, Mehlina kielcensis Dzik. Этот интервал разреза отвечает задонскому горизонту [Гатовский, 2019]. Средняя часть изученного разреза (слои 11 - 13 обнажения SJ1 и слой 1 обнажения SJ2) коррелирует с интервалом конодонтовых зон Palmatolepis crepida - Palmatolepis glabra pectinata по появлению Polygnathus tigrinus Kuzmin [Деулин, 2006] (см. рис. 3.1 и 3.2). По имеющимся данным распространение этого вида не выходит за пределы указанного стратиграфического интервала [Гатовский, 2019]. Данный интервал разреза отвечает верхней части задонского горизонта. Находка Polylophodonta elongata Druce (см. рис. 3.3) в слое 2 обнажения SJ2 позволяет предположить сопоставление верхней части обн. SJ2, как минимум, с зоной Palmatolepis rhomboidea (нижняя часть елецкого горизонта), поскольку Polylophodonta elongata известна из зоны toIIβ (= интервал зон Palmatolepis rhomboidea - Palmatolepis marginifera marginifera) Австралии и не отмечена в более древних отложениях [Druce, 1976].

Содержание органического углерода в известняках не превышает 0,2% (оценка фотометрическим методом по шлифам), а сами породы не несут следов существенной перекристаллизации, что обеспечивает корректность определения изотопного состава углерода карбонатов. Конодонтовые элементы характеризуются хорошей сохранностью и индексом окраски 1. Это позволяет предполагать сохранение в них первичного изотопного сигнала по углероду [Zhuravlev, 2023].

# Результаты и их обсуждение

Изотопный состав углерода карбонатов в изученном разрезе ижемской свиты изменяется в интервале от -1,2 до -0,2‰ (рис. 4). Среднее значение δ<sup>13</sup>C<sub>carb</sub> составляет -0,7‰. Легкий изотопный состав углерода карбонатов ижемской свиты отмечался ранее [Майдль, Безносов, 2011]. Вероятно, он связан как с общим относительно легким изотопным составом углерода океанических вод в раннефаменское время (0-1‰) [Buggish, Joachimski, 2006; Saltzman, Thomas, 2012], так и с локальными условиями в мелководном прибрежном бассейне.

Средний изотопный состав углерода раннефаменских конодонтовых элементов из рассматриваемого разреза составляет -25,5‰. Значения  $\delta^{13}C_{con}$  варьируют в интервале от -27,9 до -24,0‰ (см. рис. 4). На имеющемся материале отмечается некоторый таксономический контроль значений  $\delta^{13}C_{con}$ . Представители рода *Mitrellataxis* демонстрируют наиболее легкий изотопный состав углерода, а представители рода Jablonnodus – наиболее тяжелый. Конодонтовые элементы рода *Ligonodina* показывают промежуточные значения (рис. 5). Эта

11

## ISSN 2070-5379 Neftegasovaâ geologiâ. Teoriâ i practika (RUS) URL: http://www.ngtp.ru

закономерность проявляется как в данных по разрезу в целом, так и на уровне отдельных образцов (см. рис. 4, 5). Различия таксонов по изотопному составу углерода могут быть обусловлены особенностями их трофической специализации [Zhuravlev, 2020, 2023]. Поскольку величина различий между средними значениями для *Mitrellataxis* и *Jablonnodus* достигает 2‰, они могут отражать принадлежность данных родов к разным трофическим уровням [Caut et al., 2009] при условии, что изотопный состав углерода первичных продуцентов составлял около -31‰. На трофические различия между *Mitrellataxis* и *Jablonnodus* указывает также существенная разница соотношения Sr/Ca в альбидной ткани этих родов: у *Mitrellataxis* оно в 5 раз выше, чем у *Jablonnodus* и *Ligonodina* (0,02 и 0,004 моль/моль соответственно). Исходя из этих данных, *Mitrellataxis*, вероятно, занимали более низкий трофический уровень по сравнению с *Jablonnodus* и *Ligonodina* (см. также [Zhuravlev et al., 2020]).

Если учесть указанное таксономическое влияние на величину  $\delta^{13}C_{con}$ , то общие вариации  $\delta^{13}C_{con}$  по разрезу представляются незначительными. Отрицательный экскурс в средней части обн. SJ2, скорее всего, таксономически обусловлен (низкие значения по *Mitrellataxis*) (см. рис. 4). Достоверным можно считать только увеличение значений  $\delta^{13}C_{con}$  в верхней части обн. SJ1, фиксируемое как по представителям *Jablonnodus*, так и *Ligonodina* (см. рис. 4).

Полученные данные по изотопному составу карбонатов и конодонтовых элементов использованы для моделирования динамики эффективной скорости роста фитопланктона [Журавлев, 2022]. Результаты моделирования показывают относительно высокие скорости роста фитопланктона, которые, вероятно, обеспечивали эвтрофные условия в мелководной пелагической экосистеме. Реконструируется слабый рост первичной биопродуктивности в фазе *Pal. minuta minuta* с последующей стабилизацией на относительно высоком уровне в фазах *Pal. crepida - Pal. rhomboidea* (см. рис. 4).

По скорости роста фитопланктона раннефаменские экосистемы рассматриваемого района близки к среднефранским (доманиковым) [Журавлев, 2022], однако высокая биопродуктивность в данном случае не привела к формированию отложений с высоким содержанием органического вещества. Вероятно, что мелководные условия седиментации в сочетании с хорошей аэрируемостью придонных вод приводили к быстрому окислению продуцируемого органического вещества и препятствовали его эффективному захоронению. Свой вклад в переработку планктогенного органического вещества вносили и бентосные сообщества, представленные плотными скоплениями брахиопод и многочисленным, судя по обильным ихнофоссилиям, подвижным бентосом. По этой причине рассматриваемые отложения не содержат значимых количеств рассеянного органического вещества.



Рис. 4. Изотопный состав углерода в карбонатах и конодонтовых элементах из разреза ижемской свиты и результаты реконструкции палеобиопродуктивности Пунктирные линии соединяют средние значения.



Рис. 5. Соотношение изотопного состава углерода фаменских конодонтов Jablonnodus, Ligonodina и Mitrellataxis

Использованы исходные данные из [Zhuravlev, 2023]. Квартили 25-75% обозначены серыми прямоугольниками, вертикальная линия внутри прямоугольника отвечает медиане. Минимальные и максимальные значения показаны с помощью линий с засечками. Точки соответствуют измеренным значениям.

Следует отметить, что в области относительно глубоководного шельфа (современный юг поднятия Чернышева) для раннефаменских (фаза *rhomboidea*) пелагических экосистем также реконструирована высокая первичная биопродуктивность [Груздев и др., 2023]. Однако, в отличие от рассматриваемого района, там существовали более благоприятные тафономические условия для накопления и сохранения в осадке органического вещества. Это привело к формированию на юге поднятия Чернышева темноцветных аргиллитов (С<sub>орг</sub> до 6,3%) и глинистых известняков (С<sub>орг</sub> до 0,9%) сортамаельской свиты [Бушнев и др., 2017; Груздев и др., 2023].

Полученные данные позволяют предположить, что быстрое послекризисное восстановление экосистем в раннем фамене обеспечивалось, в частности, высокой первичной биопродуктивностью в толще воды и в мелководной, и в глубоководной части шельфа. Это создавало пищевую базу как для нектонно-планктонных, так и для бентосных организмов, и способствовало росту их численности и таксономического разнообразия.

# Заключение

В раннем фамене на юге Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции сформировались экосистемы с высокой первичной биопродуктивностью, отражающие восстановление биоты после фран-фаменского экологического кризиса. Вероятно, эти экосистемы продуцировали значительные объемы органического вещества, которые интенсивно утилизировалось обильным бентосом и окислялись в хорошо аэрируемой мелководной части бассейна, но накапливались в составе богатых органическим веществом отложений в глубоководной части бассейна.

# Литература

*Безносов П.А.* Сосногорская свита - новое местное стратиграфическое подразделение верхнего девона на Южном Тимане // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России: материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Т. II. - Сыктывкар: Геопринт, 2009. - С. 9-12.

Бушнев Д.А., Плотицын А.Н., Груздев Д.А., Бурдельная Н.С. Органическое вещество фаменских отложений южной части гряды Чернышева (разрез на р. Изъяель) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2017. - Т.12. - №3. - http://www.ngtp.ru/rub/1/26\_2017.pdf DOI: <u>10.17353/2070-5379/26\_2017</u>

*Гатовский Ю.А.* Нижнефаменские конодонты ижемской свиты (Южный Тиман) // Ломоносовские чтения-2019. Секция Геология: доклады научной конференции. - 2019. - https://conf.msu.ru/file/event/5604/eid5604\_attach\_34eddee03416f5b3d7fe1223435cae4cbc7f1af6. pdf

Груздев Д.А., Журавлев А.В., Вевель Я.А., Ерофеевский А.В., Смолева И.В. Фаменский отрицательный экскурс изотопного состава углерода в разрезе на р. Изъяю (поднятие Чернышева, Предуральский краевой прогиб) // Литосфера. - 2023. - №2. - С. 165-178. DOI: <u>10.24930/1681-9004-2023-23-2-165-178</u>

Деулин Ю.В. Конодонты и корреляция продуктивных на нефть верхнедевонских отложений Севера Тимано-Печорской провинции. - Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2006. - 253 с.

Журавлев А.В. Динамика таксономического разнообразия конодонтов в позднем девонераннем карбоне (фаменский-серпуховский века) // Литосфера. - 2019. - №1. - С. 81-91. DOI: <u>10.24930/1681-9004-2019-19-1-81-91</u>

*Журавлев А.В.* Численное моделирование первичной биопродуктивности пелагических экосистем палеозоя // Вестник геонаук. - 2022. - №8. - С. 37-42. DOI: <u>10.19110/geov.2022.8.4</u>

*Майдль Т.В., Безносов П.А.* Изотопный состав карбонатного углерода и кислорода и распределение стронция в разрезе нижнего фамена по р. Ижма (Южный Тиман) // Вестник Института геологии. - 2011. - №4. - С. 4-8.

*Обуховская Т.Г., Кузьмин А.В.* Споры и конодонты из пограничных верхнефранских - нижнефаменских отложений Ухтинско-Тебукского района // Палеонтологический метод в геологии. - М., 1993. - С. 35-51.

Плякин А.М. О стратификации фаменских отложений Южного Тимана // Нефтегазовое дело. - 2015. - №3. - С. 31-47.

Прищепа О.М., Богацкий В.И., Макаревич В.Н., Чумакова О.В., Никонов Н.И., Куранов А.В., Богданов M.M.Новые представления тектоническом 0 И нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория И практика. -2011. \_ T.6. №4. http://www.ngtp.ru/rub/4/40 2011.pdf

*Buggish W., Joachimski M.M.* Carbon isotope stratigraphy of the Devonian of Central and Southern Europe // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. - 2006. - 240. - P. 68-88. DOI: <u>10.1016/j.palaeo.2006.03.046</u>

*Caut S., Angulo E., Courchamp F.* Variation in discrimination factors ( $\delta^{15}$ N and  $\delta^{13}$ C): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction // Journal of Applied Ecology. - 2009. - 46. - P. 443-453. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01620.x

*Druce E.C.* Conodont biostratigraphy of the Upper Devonian reef complex of the Canning Basin, Western Australia // Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bulletin 158(1). - 1976. - P. 1-303.

Hartke E.R., Bradley D., Cramer B.D., Calner M., Melchin M.J., Barnett B.A., Oborny S.C., Bancroft A.M. Decoupling  $\delta^{13}C_{carb}$  and  $\delta^{13}C_{org}$  at the Onset of the Ireviken Carbon Isotope Excursion:  $\Delta^{13}C$  and Organic Carbon Burial (forg) during a Silurian Oceanic Anoxic Event // Global and Planetary Change. - 2021. - 196. - 103373. DOI: <u>10.1016/j.gloplacha.2020.103373</u>

*Hayes J.M., Strauss H., Kaufman A.J.* The Abundance of <sup>13</sup>C in Marine Organic Matter and Isotopic Fractionation in the Global Biogeochemical Cycle of Carbon during the Past 800 Ma // Chemical Geology. - 1999. - Vol. 161. - №1-3. - P. 103-125. DOI: <u>10.1016/S0009-2541(99)00083-2</u>

*McGhee G.R.* The Late Devonian Mass Extinction. The Frasnian/Famennian Crisis. Columbia University Press, 1996. - 303 p.

*McMahon K.W., Hamady L.L., Thorrold S.R.* A review of ecogeochemistry approaches to estimating movements of marine animals // Limnology Oceanography. - 2013. - Vol. 58. - № 2. - P. 697-714. DOI: 10.4319/10.2013.58.2.0697

*Mizutani H., Kabaya Y., Wada E.* Nitrogen and carbon isotope compositions relate linearly in cormorant tissues and its diet // Isotopenpraxis. - 1991. - 27. - P. 166-168. DOI: <u>10.1080/10256019108622500</u>

*Racki G.* A volcanic scenario for the Frasnian-Famennian major biotic crisis and other Late Devonian global changes: More answers than questions? // Global and Planetary Change. - 2020. - 189. - 103174. DOI: <u>10.1016/j.gloplacha.2020.103174</u>

*Saltzman M.R., Thomas E.* Carbon isotope stratigraphy // The Geologic Time Scale. - 2012. - P. 207-232. DOI: <u>10.1016/B978-0-444-59425-9.00011-1</u>

Spalletta C., Perri M.C., Over D.J., Corradini C. Famennian (Upper Devonian) conodont zonation: revised global standard // Bulletin of Geosciences. - 2017. - Vol. 92. - № 1. - P. 31-57. DOI: <u>10.3140/bull.geosci.1623</u>

*Wang C.-Y., Ziegler W.* Frasnian-Famennian conodont mass extinction and recovery in South China // Senckenbergiana lethaea. - 2002. - Vol. 82. - № 2. - P. 463-493.

*Zhuravlev A.V.* Trophic position of some Late Devonian-Carboniferous (Mississippian) conodonts revealed on carbon organic matter isotope signatures: a case study of the East European basin // Geodiversitas. - 2020. - Vol. 42. -  $N_2$  24. - P. 443-453. DOI: <u>10.5252/geodiversitas2020v42a24</u>

*Zhuravlev A.V.* Middle-Late Paleozoic Conodont Ecogeochemistry: An Overview // Vestnik of Geosciences. - 2021. - № 3. - P. 31-34. DOI: <u>10.19110/geov.2021.3.5</u>

*Zhuravlev A.V.* Interregional Correlation of the Middle Frasnian (Upper Devonoian) of the North-West of the Russian Plate and the East of the Pechora Plate: an Ecogeochemical Aspect // Geodynamics & Tectonophysics. - 2022. - Vol. 13. -  $\mathbb{N}_{2}$  2s. - 0620. DOI: <u>10.5800/GT-2022-13-2s-0620</u>

*Zhuravlev A.V.* Carbon isotope study of conodont elements: applications and limitations // Marine Micropaleontology. - 2023. - 178. - 102200. DOI: <u>10.1016/j.marmicro.2022.102200</u>

*Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A.* Carbon Isotope Ratios in the Apatite-Protein Composites of Conodont Elements-Palaeobiological Proxy. Lecture Notes in Earth System Sciences. Frank-Kamenetskaya, O.V., Vlasov, D.Y., Panova, E.G., Lessovaia, S.N. (Eds.). Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature. - 2020. - Chapter 40. - P. 749-764. DOI: 10.1007/978-3-030-21614-6\_40

*Zhuravlev A.V., Sokiran E.V.* Frasnian-Famennian (Upper Devonian) transition in the northern hemisphere (NE Laurussia and NE Siberia) - an overview // Bulletin of Geosciences. - 2020. - Vol. 95. - № 4. - P. 419-439. DOI: <u>10.3140/bull.geosci.1791</u>

*Ziegler W., Lane H.R.* Cycles in conodont evolution from Devonian to mid-Carboniferous. In Aldridge, R.J. (ed.) Palaeobiology of conodonts. Chichester: Ellis Horwood, 1987. - P. 147-163.

# **Zhuravlev A.V.**

Institute of Geology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia, micropalaeontology@gmail.com

# CARBON ISOTOPIC COMPOSITION OF THE EARLY FAMENNIAN CONODONTS AND HOST CARBONATES OF THE IZMA FORMATION (SOUTH TIMAN)

The variations in the carbon isotope composition of conodonts and host carbonates have been studied on material from the Lower Famennian of the southern part of the Timan-Pechora petroleum Province. For shallow-water section,  $\delta^{13}C_{con}$  values range from -27.9% to -24.0%, and the average value of  $\delta^{13}C_{carb}$  is -0.7%. Carbonate and conodont element isotopic composition data were used to model the dynamics of effective phytoplankton growth rate. The growth of primary bioproductivity in the Pal. minuta minuta Zone followed by stabilization at a relatively high level in the Pal. crepida Pal. rhomboidea zonal interval. These data suggest that ecosystems with high primary bioproductivity were formed in the Early Famennian in the south of the Timan-Pechora Province, reflecting the recovery of biota after the Frasnian-Famennian ecological crisis (Upper Devonian). These ecosystems probably produced significant amounts of organic matter, which was intensively utilized by abundant benthos and oxidized in the well-aerated shallow-water part of the basin, but accumulated as organic-rich sediments in the deep-water part of the basin.

*Keywords:* conodonts, *C*-isotopes, Upper Devonian, Timan-Pechora petroleum Province, bioproductivity.

# **References**

Beznosov P.A. Sosnogorskaya svita - novoe mestnoe stratigraficheskoe podrazdelenie verkhnego devona na Yuzhnom Timane [The Sosnogorsk Formation is a new local stratigraphic unit of the Upper Devonian in Southern Timan]. Geologiya i mineral'nye resursy evropeyskogo Severo-Vostoka Rossii: materialy XV Geologicheskogo s"ezda Respubliki Komi. Syktyvkar: Geoprint, 2009, vol. II, pp. 9-12.

Buggish W., Joachimski M.M. Carbon isotope stratigraphy of the Devonian of Central and Southern Europe. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 240, pp. 68-88. DOI: <u>10.1016/j.palaeo.2006.03.046</u>

Bushnev D.A., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A., Burdel'naya N.S. Organicheskoe veshchestvo famenskikh otlozheniy yuzhnoy chasti gryady Chernysheva (razrez na r. Iz"yael') [Famennian organic matter of the southern part of the Chernyshev Ridge (Iz'yayol River section)]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2017, vol. 12, no. 3, available at: http://www.ngtp.ru/rub/1/26\_2017.pdf DOI: 10.17353/2070-5379/26\_2017

Caut S., Angulo E., Courchamp F. Variation in discrimination factors ( $\delta$ 15N and  $\delta$ 13C): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. Journal of Applied Ecology, 2009, 46, pp. 443-453. DOI: <u>10.1111/j.1365-2664.2009.01620.x</u>

Deulin Yu.V. Konodonty i korrelyatsiya produktivnykh na neft' verkhnedevonskikh otlozheniy Severa Timano-Pechorskoy provintsii [Conodonts and correlation of oil-productive Upper Devonian strata of the North of the Timan-Pechora province]. Arkhangel'sk: OAO «IPP «Pravda Severa», 2006, 253 p.

Druce E.C. Conodont biostratigraphy of the Upper Devonian reef complex of the Canning Basin, Western Australia. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bulletin 158(1), 1976, pp. 1-303.

Gatovskiy Yu.A. *Nizhnefamenskie konodonty izhemskoy svity (Yuzhnyy Timan)* [Lower Famennian conodonts of the Izhem Formation (Southern Timan)]. Lomonosovskie chteniya-2019. Sektsiya Geologiya: doklady nauchnoy konferentsii, 2019, https://conf.msu.ru/file/event/5604/eid5604\_attach\_34eddee03416f5b3d7fe1223435cae4cbc7f1af6. pdf

Gruzdev D.A., Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A., Erofeevskiy A.V., Smoleva I.V. Famenskiy

otritsatel'nyy ekskurs izotopnogo sostava ugleroda v razreze na r. Iz"yayu (podnyatie Chernysheva, Predural'skiy kraevoy progib) [Famennian negative carbon isotope incursion in the Izyayu River section (Tchernyshev Uplift, Cis-Uralian Foredeep)]. Litosfera, 2023, no. 2, pp. 165-178. DOI: <u>10.24930/1681-9004-2023-23-2-165-178</u>

Hartke E.R., Bradley D., Cramer B.D., Calner M., Melchin M.J., Barnett B.A., Oborny S.C., Bancroft A.M. Decoupling  $\delta$ 13Ccarb and  $\delta$ 13Corg at the Onset of the Ireviken Carbon Isotope Excursion:  $\Delta$ 13C and Organic Carbon Burial (forg) during a Silurian Oceanic Anoxic Event. Global and Planetary Change, 2021, 196, 103373. DOI: <u>10.1016/j.gloplacha.2020.103373</u>

Hayes J.M., Strauss H., Kaufman A.J. The Abundance of 13C in Marine Organic Matter and Isotopic Fractionation in the Global Biogeochemical Cycle of Carbon during the Past 800 Ma. Chemical Geology, 1999, vol. 161, no. 1-3, pp. 103-125. DOI: <u>10.1016/S0009-2541(99)00083-2</u>

Maydl' T.V., Beznosov P.A. *Izotopnyy sostav karbonatnogo ugleroda i kisloroda i raspredelenie strontsiya v razreze nizhnego famena po r. Izhma (Yuzhnyy Timan)* [Isotopic composition of carbonate carbon and oxygen and strontium distribution in the Lower Famennian section along the Izhma River (Southern Timan)]. Vestnik Instituta geologii, 2011, no. 4, pp. 4-8.

McGhee G.R. The Late Devonian Mass Extinction. The Frasnian/Famennian Crisis. Columbia University Press, 1996, 303 p.

McMahon K.W., Hamady L.L., Thorrold S.R. A review of ecogeochemistry approaches to estimating movements of marine animals. Limnology Oceanography, 2013, vol. 58, no. 2, pp. 697-714. DOI: <u>10.4319/lo.2013.58.2.0697</u>

Mizutani H., Kabaya Y., Wada E. Nitrogen and carbon isotope compositions relate linearly in cormorant tissues and its diet. Isotopenpraxis, 1991, 27, pp. 166-168. DOI: <u>10.1080/10256019108622500</u>

Obukhovskaya T.G., Kuz'min A.V. Spory i konodonty iz pogranichnykh verkhnefranskikh - nizhnefamenskikh otlozheniy Ukhtinsko-Tebukskogo rayona [Spores and conodonts from the boundary Upper Frasnian - Lower Famennian strata of the Ukhta-Tebuk region]. Paleontologicheskiy metod v geologii. Moscow, 1993, pp. 35-51.

Plyakin A.M. *O stratifikatsii famenskikh otlozheniy Yuzhnogo Timana* [On the stratification of Famennian strata of Southern Timan]. Neftegazovoe delo, 2015, no. 3, pp. 31-47.

Prishchepa O.M., Bogatskiy V.I., Makarevich V.N., Chumakova O.V., Nikonov N.I., Kuranov A.V., Bogdanov M.M. *Novye predstavleniya o tektonicheskom i neftegazogeologicheskom rayonirovanii Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii* [The Timan-Pechora petroleum province – new tectonical insight]. Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika, 2011, vol. 6, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/40\_2011.pdf

Racki G. A volcanic scenario for the Frasnian-Famennian major biotic crisis and other Late Devonian global changes: More answers than questions? Global and Planetary Change, 2020, 189, 103174. DOI: <u>10.1016/j.gloplacha.2020.103174</u>

Saltzman M.R., Thomas E. Carbon isotope stratigraphy. The Geologic Time Scale, 2012, pp. 207-232. DOI: <u>10.1016/B978-0-444-59425-9.00011-1</u>

Spalletta C., Perri M.C., Over D.J., Corradini C. Famennian (Upper Devonian) conodont zonation: revised global standard. Bulletin of Geosciences, 2017, vol. 92, no. 1, pp. 31-57. DOI: <u>10.3140/bull.geosci.1623</u>

Wang C.-Y., Ziegler W. Frasnian-Famennian conodont mass extinction and recovery in South China. Senckenbergiana lethaea, 2002, vol. 82, no. 2, pp. 463-493.

Zhuravlev A.V. Carbon isotope study of conodont elements: applications and limitations. Marine Micropaleontology, 2023, 178, 102200. DOI: <u>10.1016/j.marmicro.2022.102200</u>

Zhuravlev A.V. *Chislennoe modelirovanie pervichnoy bioproduktivnosti pelagicheskikh ekosistem paleozoya* [Numerical modeling of primary bioproductivity of Paleozoic pelagic ecosystems]. Vestnik geonauk, 2022, no. 8, pp. 37-42. DOI: <u>10.19110/geov.2022.8.4</u>

Zhuravlev A.V. Dinamika taksonomicheskogo raznoobraziya konodontov v pozdnem devonerannem karbone (famenskiy-serpukhovskiy veka) [Dynamics of taxonomic diversity of Conodonts in the Late Devonian-Early Carboniferous (Famenian-Serpukhovian Age)]. Litosfera, 2019, no. 1,

pp. 81-91. DOI: <u>10.24930/1681-9004-2019-19-1-81-91</u>

Zhuravlev A.V. Interregional Correlation of the Middle Frasnian (Upper Devonoian) of the North-West of the Russian Plate and the East of the Pechora Plate: an Ecogeochemical Aspect. Geodynamics & Tectonophysics, 2022, vol. 13, no. 2s, 0620. DOI: <u>10.5800/GT-2022-13-2s-0620</u>

Zhuravlev A.V. Middle-Late Paleozoic Conodont Ecogeochemistry: An Overview // Vestnik of Geosciences, 2021, no. 3, pp. 31-34. DOI: <u>10.19110/geov.2021.3.5</u>

Zhuravlev A.V. Trophic position of some Late Devonian-Carboniferous (Mississippian) conodonts revealed on carbon organic matter isotope signatures: a case study of the East European basin. Geodiversitas, 2020, vol. 42, no. 24, pp. 443-453. DOI: <u>10.5252/geodiversitas2020v42a24</u>

Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A. Carbon Isotope Ratios in the Apatite-Protein Composites of Conodont Elements-Palaeobiological Proxy. Lecture Notes in Earth System Sciences. Frank-Kamenetskaya, O.V., Vlasov, D.Y., Panova, E.G., Lessovaia, S.N. (Eds.). Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature, 2020, chapter 40, pp. 749-764. DOI: <u>10.1007/978-3-030-21614-6\_40</u>

Zhuravlev A.V., Sokiran E.V. Frasnian-Famennian (Upper Devonian) transition in the northern hemisphere (NE Laurussia and NE Siberia) - an overview. Bulletin of Geosciences, 2020, vol. 95, no. 4, pp. 419-439. DOI: <u>10.3140/bull.geosci.1791</u>

Ziegler W., Lane H.R. Cycles in conodont evolution from Devonian to mid-Carboniferous. In Aldridge, R.J. (ed.) Palaeobiology of conodonts. Chichester: Ellis Horwood, 1987, pp. 147-163.

© Журавлев А.В., 2023

